Basel, 1961

Aus der traumatologisch-orthopädischen Abteilung (Vorsteher: PD. Dr. H. Nigst)
der Chirurgischen Universitätsklinik Basel (Direktor: Prof. R. Nissen)

Über die Verwendung synthetischer Harze in der Knochenchirurgie

Experimentelle Untersuchungen zur operativen Versteifung der Kaninchenwirbelsäule

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

Vorgelegt von

JEAN HENRI DUNANT

von Genf

LANE LIBRARY. STANFORD UNIVERSITY

Druck von Benno Schwabe & Co.
Basel 1961

Aus der traumatologisch-orthopädischen Abteilung (Vorsteher: PD. Dr. H. Nigst)
der Chirurgischen Universitätsklinik Basel (Direktor: Prof. R. Nissen)

Über die Verwendung synthetischer Harze in der Knochenchirurgie

Experimentelle Untersuchungen zur operativen Versteifung der Kaninchenwirbelsäule

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

Vorgelegt von

JEAN HENRI DUNANT

von Genf

Druck von Benno Schwabe & Co.
Basel 1961

Von der Medizinischen Fakultät genehmigt auf Antrag von Prof. *R. Nissen*

Tag der Promotion: 12. Mai 1961

Einleitung

Die Verwendbarkeit verschiedener Kunstharze in der Knochenchirurgie ist in letzter Zeit Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Dabei standen vorwiegend das Polyurethanderivat Ostamer (Merell) und das Äthoxylinharz Araldit (Ciba) im Vordergrund des Interesses [1, 2, 9, 14, 15, 17].

Im idealen Falle sollte ein solches Harz folgende Eigenschaften aufweisen [1, 2, 8, 9, 14, 15]:

- rasche, torsionsfeste, knochenartige Härtung bei einfacher Applikation in dickflüssigem Zustand ohne signifikante Wärmeentwicklung oder Volumenveränderung
- hohe Haft- und Klebefestigkeit bei einer dem Knochen entsprechenden Elastizität
- minimale lokale und allgemeine Toxizität
- sichere Sterilisierbarkeit des Materials
- keine Behinderung der normalen Kallus- und Knochenbildung.

Die Vorteile einer solchen Osteosynthesemethode wären eminent:
Frühaufstehen und Frühbelastung [1, 11],
Frühmobilisation der Gelenke,
keine Nachoperationen zur Entfernung von Osteosynthesematerial [15–17].

Seit zwei Jahren sind von zahlreichen Autoren verschiedene Befunde veröffentlicht worden, die teilweise in vitro oder im Tierexperiment, teilweise in Untersuchungen am Menschen gewonnen wurden. Diese Publikationen weisen indessen gewisse Uneinheitlichkeiten der Resultate und Schlußfolgerungen auf, so daß derzeit offenbar noch kein verbindliches Urteil über den Wert dieser Verfahren abgegeben werden kann. Es scheint daher angebracht, einen Überblick über die vorliegende Literatur zu geben und diese kritisch auszuwerten.

1. Versuche mit Ostamer

a) Abbau und Toxizität

Es ist bekannt, daß gewisse Verbindungen in Harzmischungen besonders bei Ratten toxisch, unter Umständen sogar karzinogen wirken können. Die meisten in einen lebenden Organismus implantierten Fremdkörper können, mehr durch physikalische als durch chemische Reize, ein malignes Wachstum provozieren [16]. Durch Markieren mit C^{14} erhielt man Einblick in die Abbauvorgänge. Diese sind aber bis heute noch nicht genügend abgeklärt. Das Harz wird im Verlauf von 2–3 Jahren bis auf mikroskopische Spuren fast völlig abgebaut und während des Abbaus nach und nach von Knochengewebe durchwachsen und ersetzt, wie das auch bei Polyvinylverbindungen der Fall ist [7, 16]. Der C^{14} erscheint teilweise im Blut, ein Teil wird mit dem Urin ausgeschieden. Es ist bisher nicht bekannt, welches das Schicksal des nicht ausgeschiedenen Ostamer im Organismus ist. Möglicherweise wird es im reticuloendothelialen System gespeichert. Lokal entsteht nur eine geringe Gewebsreaktion mit einigen Rundzellen und vereinzelten Fremdkörperriesenzellen [17, 21].

Das weiße Blutbild ist nicht verändert.

Bis jetzt wurden keine experimentellen Nachweise einer Toxizität von Polyurethan geliefert [14].

Zur Prüfung der karzinogenen Wirkung wurde das Harz in das Subcutangewebe von Ratten implantiert: Nach 23 Monaten wiesen 16,6% der Versuchstiere maligne Tumoren auf [16]. Das spontane Auftreten maligner Tumoren bei Ratten betrifft meist weniger als 1%, höchstens aber 1,79%. Rattengewebe reagiert aber bekanntlich äußerst empfindlich auf Fremdkörper und entartet häufig maligne bei anderen, beim Menschen routinemäßig verwendeten körperfremden Stoffen, wie Dacron, Seide, Nylon, Polyäthylen- und Polyvinylverbindungen usw. Es darf auch nicht ohne weiteres angenommen werden, daß die karzinogene Wirkung eines Stoffes in anderen Geweben die gleiche ist wie im subcutanen Fettgewebe [5, 18].

Beim Menschen ist bisher keine lokale maligne Tumorentstehung nach Implantation plastischer Stoffe bekannt geworden [14, 15].

b) Operative Tierversuche

Tierversuche wurden aus technischen Gründen (Lokalisation, Blutstillung, große Markhöhle) vorerst nur an langen Röhrenknochen mit Erfolg vorgenommen. Sehr wichtig ist die sorgfältige Blutstillung. Blut und Gewebeflüssigkeit setzen sowohl die Knochen-Harz-Verbindung als auch die Festigkeit des Harzes selbst herab [14], wenn sie sich mit dem noch weichen Harz vermengen.

Die amerikanischen Autoren verwenden eine von *Mandarino* [10] entwickelte Operationsmethode:

Pentothalnarkose, Blutleere, Hautschnitt, Abschieben der Weichteile und des Periosts, quere Osteotomie. Dann wird die Markhöhle durch Aussägen eines großen Corticalisspanes über der Frakturstelle weit eröffnet und mit der Curette entleert. Nach Einlegen von zwei Kirschner-Drähten zur Armierung wird das dickflüssige Harz eingegossen, der Corticalisspan umgekehrt wieder eingesetzt und während 15 bis 20 Minuten mit Klammern an Ort und Stelle gehalten. Darauf wird das überschüssige Harz, welches eventuell zwischen Span und Knochen hervorgequollen ist, entfernt und die Weichteilwunde verschlossen.

Salvatore [15] berichtet über 11 Versuchstiere. Bei 9 Tieren waren ausgezeichnete Resultate hinsichtlich Festigkeit, Fehlen von Infektionszeichen und Schmerzen, dazu röntgenologisch nachweisbare knöcherne Durchwachsung zu verzeichnen. Die zwei Mißerfolge waren wahrscheinlich auf ungenügende Blutstillung zurückzuführen. In 3 Fällen wurden rundliche Hohlräume von 1,2 cm Durchmesser in den Femurschaft gebohrt und diese nachher mit Polyurethan gefüllt. Bei allen kam es zur vollständigen, komplikationslosen Heilung.

c) Klinische Anwendung

Keiner der unten angeführten Autoren verwendet Harze routinemäßig bei Patienten. Die Operationstechnik entsprach derjenigen bei den Tierversuchen. *Mandarino* und *Salvatore* [10] berichteten 1959 über 6 Fälle von traumatischen und pathologischen Frakturen, von verzögerter Kallusbildung und Pseudarthrosen mit befriedigenden Frühresultaten in allen Fällen.

Redler [14] publizierte 1960 50 Fälle, bei denen er Polyurethan verwendete. Darunter befanden sich Frakturen praktisch aller Röhrenknochen, Pseudarthrosen, verzögerte Kallusbildungen, Substanzdefekte und eine größere Anzahl Arthrodesen, besonders auch solche der Wirbelsäule. Postoperativ wurden für einige Tage bis höchstens zwei Wochen Gipsschienen oder Extensionen angelegt.

Die Beobachtungszeit erstreckte sich über 6 Wochen bis 7 Monate. Als erfolgreich wurden diejenigen Fälle bezeichnet, welche neben der klinischen Konsolidation eine deutliche, röntgenologisch nachweisbare Kallusbildung zeigten; als mißlungen gelten diejenigen Fälle, welche falsche Beweglichkeit zeigen. Unbestimmt sind diejenigen Fälle, welche nur klinische, aber keine röntgenologische Konsolidation aufweisen, also noch Kallus bilden oder aber wieder frakturieren können.

Von 50 Fällen waren nach diesen Kriterien:

8 erfolgreich (16%)
15 mißlungen (30%)
27 unbestimmt (54%).

Dazu kam, daß von diesen 50 Fällen 12 (24%) infiziert waren. *Redler* führt diese große Anzahl Infektionen auf das weite Aufbohren der Markhöhle,

auf Fremdkörperreaktionen gegenüber Harzpartikeln in der Operationswunde und auf einen Bakterienträger im Operationsteam zurück.

Von 19 Arthrodesen sind 4 mißlungen. Die übrigen 15 sind fest, zeigen aber keinerlei knöcherne Verbindung. Bei einem Patienten mit einer mißlungenen Kniearthrodese mußte, wegen einer schweren Infektion, das Bein oberhalb des Knies amputiert werden.

Drompp [6] berichtet über 15 Fälle (5 frische Frakturen, 10 Pseudarthrosen). Bei den Oberschenkelfrakturen verlief die Heilung komplikationslos. Die Tibiafrakturen hingegen zeigten fast ausnahmslos starke postoperative Schwellung und Wunddehiszenz, so daß die Behandlung modifiziert werden mußte. Es wurde zusätzlich für 4–6 Wochen ein Gipsverband angelegt, um eine adäquate Wundheilung zu gewährleisten, bevor belastet wurde. *Drompp* kommt zum Schluß, daß die Anwendung von Kunstharz zur Osteosynthese am Oberschenkel durchaus mit Vorteil möglich ist, besonders weil die Weichteilwunde wegen der reichlichen Muskulatur und der gut verschieblichen Haut schnell und komplikationslos heilt. Dies erlaubt die durch eine solche Osteosynthesemethode bezweckte Frühmobilisation. Ganz anders sind die Verhältnisse im Bereiche der Tibia, wo die Muskulatur spärlich und die Haut gespannt ist. Dazu kommen noch die besonders bei älteren Patienten prekären Blutzirkulationsverhältnisse am Unterschenkel. Hier hat sich die Methode bis heute noch nicht bewährt.

2. Versuche mit Araldit

a) Abbau und Toxizität

Araldit wurde mit radioaktivem Calcium markiert. Es zeigte sich, daß dieses Harz praktisch nicht abgebaut wird, in kompaktem Zustand also vom Knochen umwachsen werden muß [1]. Der Fremdkörper, den das Harz bildet, bleibt an Ort und Stelle im Organismus und wird von den Gewebsflüssigkeiten nicht angegriffen [2]. In einer Weiterentwicklung ist es jetzt gelungen, Araldit auch in poröser Form herzustellen, so daß es vom Knochen durchwachsen werden kann [2].

Beim Araldit werden Polyamine als Katalysatoren verwendet. Diese können toxisch wirken. *Bloch* [2] betont jedoch, daß weder bei Versuchstieren noch bei Patienten bisher Zeichen von Aminintoxikation festgestellt werden konnten. Hingegen können bei unvorsichtigem Arbeiten mit dem Härter Ekzeme und andere allergische Hautaffektionen auftreten.

b) Operative Tierversuche

Bloch hatte in einer ersten Versuchsserie an Schafen [1] eine Methode entwickelt, bei der er die Frakturstelle möglichst gleichmäßig mit Araldit be-

strich. Darauf wurde dieses in situ mit einem Lötkolben erhitzt, wobei noch als zusätzliche Verstärkung von außen mit Harz bestrichene Fiberglasfolien angepreßt wurden.

Um die anfänglich unbefriedigende Festigkeit zu verbessern, wurden in einer zweiten Versuchsserie bei 6 Schafen zusätzlich zum oben beschriebenen Procedere noch lange Polyäthylenstifte markschlüssig in die Markhöhle getrieben, so daß sie die Frakturstelle überbrückten. 4 von 6 auf diese Weise behandelte Frakturen beim Schaf heilten komplikationslos. Die Tiere konnten am 2. postoperativen Tag voll belasten. Die gleiche Methode wurde an einer Anzahl von Speichen am Pferd erprobt. Auch diese Versuche verliefen befriedigend. Dennoch wurde auf Grund dieser Versuche die intramedulläre Applikation eines Polyäthylenstiftes wieder verlassen, da dadurch die Blutversorgung der Frakturstelle und damit die des Kallus empfindlich gestört wurde, besonders weil bei Verwendung eines kompakten Harzes vom Periost her keine Vascularisation stattfinden konnte.

In weiteren Versuchen verwendete *Bloch* [2] poröses Araldit. Da bei den oben beschriebenen Methoden der Knochen über weite Bezirke von den Weichteilen entblößt werden muß, wurde noch eine andere Applikationsart versucht: Es wurden vorfabrizierte, vorgeformte Platten aus Araldit von gleicher Elastizität wie der Knochen mit frisch bereitetem Araldit über die Frakturstelle geklebt. *Bloch* mißt der präzisen Blutstillung größte Wichtigkeit bei, damit eine optimale Haftfestigkeit gewährleistet ist. Die Härtung (Polymerisation) des Harzes ist ein exothermer Prozeß. Bei den angewandten geringen Harzmengen sind bisher keine Nebenwirkungen auf Grund von Temperaturschäden vorgekommen [2]. Versuche sind im Gang, die die Wirkung auf die Kallusbildung abklären sollen. *Bloch* betont in seinen Arbeiten wiederholt, daß das erstrebenswerte Ziel das einfache Eingießen von Harz in den Frakturspalt sein müsse.

c) Klinische Anwendung

Auch Araldit wird in der Knochenchirurgie nicht routinemäßig verwendet. Es wurden aber einzelne günstige Fälle nach der einen oder anderen Methode operiert.

Da die Harze für die bei normalen Knochenaufnahmen verwendeten Röntgenstrahlen vollkommen durchlässig sind, wurden ihnen Spuren von Bariumsulfat beigemischt [1]. Neuerdings wird auch ein Desinfiziens beigegeben, welches den Schutz gegenüber bakteriellen Infektionen erhöhen soll [2].

Als erfolgreich geheilt bezeichnet *Bloch* diejenigen Fälle, welche klinisch fest sind und röntgenologisch deutliche Kallusbildung aufweisen. Bei Tibiafrakturen waren die Resultate enttäuschend. Von 8 Fällen mit Pseudarthrosen oder frischer Fraktur der Tibia war nur einer erfolgreich. Besser sind die

Ergebnisse bei Femur-, Humerus- und Radiusfrakturen. Ein Fall von Radiuspseudarthrose, der schon 5mal vorher operiert worden war, heilte nach Applikation von Araldit erfolgreich. Zwei von vier Humerusfrakturen wurden mit Erfolg geheilt, die anderen zwei waren wohl fest, der Humerus brach aber bei diesen beiden alten Patienten einer psychiatrischen Klinik aus unbekannten Gründen nach einiger Zeit wieder an einer mehr proximal gelegenen Stelle.

Zusammenfassung und Diskussion

Sowohl mit Araldit [1, 2, 11, 12] als auch mit Ostamer [6, 8, 9, 10, 13, 21] sind in den letzten drei Jahren ermutigende Resultate bei klinischer Verwendung erzielt worden, es ist jedoch noch kein signifikanter Fortschritt gegenüber dem herkömmlichen Osteosynthesematerial zu verzeichnen. Insbesondere die Frage der Toxizität und Speicherung im Organismus ist noch unvollständig abgeklärt.

Im Aprilheft 1960 des «Journal of Bone and Joint Surgery» teilt die Redaktion mit, daß sie, in Anbetracht der sehr unterschiedlichen Resultate sowohl im Tierexperiment als auch in der klinischen Anwendung, welche ihr bisher mitgeteilt wurden, vorderhand auf den Abdruck von Publikationen über dieses Thema verzichte, obschon die Idee einer plastischen Fixation von Knochenbruchstücken mit ihren augenfälligen Vorteilen an sich ganz neue Perspektiven eröffne.

An der Jahresversammlung 1960 der amerikanischen Akademie betonte *Bloch*, daß sowohl Ostamer als auch Araldit nur für vereinzelte, besondere Fälle verwendet werden sollten. Das sind in der Hauptsache pathologische Frakturen und Fälle, wo die herkömmliche Behandlungsart versagt hat.

Ein Bedürfnis für solches Osteosynthesematerial besteht zweifellos. Man denke nur an die bisher noch nicht voll befriedigenden Osteosynthesen bei frischen, komplizierten Frakturen der langen Röhrenknochen oder auch an die psychologisch große Bedeutung einer schnellen, wiederherstellenden Therapie nach pathologischen Frakturen.

Einzelne Erfolge bei traumatischen Frakturen, besonders des Unterschenkels, wurden mit dieser Art der Osteosynthese bis jetzt nur in Verbindung mit einem Gipsverband während 4–6 Wochen verzeichnet. Das Ziel der Anwendung dieser Harze ist aber eben die Frühmobilisation und Frühbelastung nach Heilung der Weichteilwunde *ohne* zusätzliche Fixation und Ruhigstellung.

Was sowohl das Material als auch die Operationstechnik betrifft, werden noch weitgehende Modifikationen und Verbesserungen angebracht werden müssen, bis dieses Ziel erreicht ist.

Experimentelle Untersuchungen zur operativen Versteifung der Kaninchenwirbelsäule

Blochs erfolgreiche Osteosynthesen [1, 2] langer Röhrenknochen mit Araldit beim Schaf führten dazu, die Möglichkeiten für den Einsatz von «Knochenleimen» vorwiegend in der Frakturbehandlung zu erblicken. Sowohl in tierexperimentellen Versuchen als auch in den Fällen, in denen bereits eine Anwendung am Menschen stattfand, wurde daher von den meisten Autoren vornehmlich die Frakturbehandlung bearbeitet, und zwar in gleicher Weise unter Verwendung des Äthoxylinharzes Araldit und des Polyurethanderivates Ostamer. Während hier zunächst nicht noch einmal auf die vielfältigen Probleme bei der Applikation der genannten Substanzen, auf die unterschiedlichen Behandlungsresultate und deren praktische Konsequenzen eingegangen werden soll, erhebt sich doch die Frage nach weiteren möglicherweise geeigneten Anwendungsgebieten. Betrachtet man als prinzipiell angestrebtes Ziel die mechanisch feste und belastbare Vereinigung zweier lebender knöcherner Teile, so eröffnet sich ein weites Feld für experimentell-technische Fragestellungen, da grundsätzlich jede zur festen Knochenverbindung durchgeführte Operation auch eine Indikation zur Anwendung der «Knochenleime» darstellen kann.

Wir entschlossen uns daher, unter Auswertung früherer Erfahrungen Versuche zur Versteifung der Wirbelsäule durchzuführen. Als Versuchstiere verwendeten wir Kaninchen und stellten uns die Aufgabe, 3–4 Wirbel im Bereiche der unteren Brustwirbelsäule mittels Verleimung zu arthrodesieren. Das Ergebnis sollte nach verschiedenen Zeiten röntgenologisch und autoptisch kontrolliert werden.

1. Operationstechnik

Intravenöse Numal(Roche)-Narkose (0,6 cm^3 einer 10%igen Lösung pro kg Körpergewicht).

8 cm langer medianer Längsschnitt der Haut über den Dornfortsätzen. Durchtrennung der Fascie und der Aponeurose beidseitig parallel zu den Processus spinosi. Wegschieben der Rückenmuskulatur und Abpräparieren der Muskelansätze und der Ligamente beiderseits von den Dorn- und Querfortsätzen und von der Hinterfläche der Wirbelbögen. Entfernen der Ligamenta supra- und interspinalia, so daß 3–4 Dorn- und Querfortsätze und auf beiden Seiten die hinteren lateralen Flächen der zugehörigen Wirbelbögen freiliegen. Mit dem scharfen Löffel werden die letzten Reste von Muskelansätzen, Bändern und Periost dieses Gebietes entfernt. Nun wird eine erste, 1 mm dünne Schicht Araldit (ca. 4 g) auf die freien Knochenfortsätze gestrichen und 3 Minuten gewartet, bis diese Schicht hochviskös ge-

worden ist. Auf diese Grundierung wird die restliche Portion Araldit gegossen, nachdem die Weichteile mit Plastikfolien abgedeckt worden sind. Ins weiche Harz werden, lediglich zur Markierung des für Röntgenstrahlen durchlässigen Harzes, zwei bajonettförmige und ein U-förmiges Drahtstückchen von ½ mm Dicke neben und um die freien Dornfortsätze gelegt.

Das Operationsfeld wird, mit Ausnahme der mit Araldit begossenen Stelle, mit in physiologischer Kochsalzlösung getränkten Tüchern abgedeckt. Die Harzplombe wird darauf von zwei Seiten her mit Infrarotlampen im Abstand von 30 cm während 10 Minuten bestrahlt. Nach Abkühlen mit Kochsalzlösung und Glätten von eventuell bestehenden scharfen Kanten an der Harzplombe wird die Weichteilwunde schichtweise verschlossen. Wundverband. ½ cm^3 Chloramphenicol i.m. täglich während 2 Wochen zur Infektionsprophylaxe. Nach dem Eingriff werden nach und nach 40 cm^3 physiologische Kochsalzlösung subcutan infundiert.

Der Eingriff stellt für das Kaninchen ein erhebliches Trauma dar, offenbar vorwiegend wegen der schwer beherrschbaren Sickerblutungen. Wir verwendeten daher möglichst Tiere über 2,5–3,0 kg Körpergewicht und konnten damit die postoperativen Komplikationen vermindern.

Das verwendete Araldit entsprach der von uns bereits früher applizierten Mischung A_2–E_4. A_2 stellt den Epoxy-Grundkörper (Bindemittel 105) dar, welcher zur Erhöhung der Viskosität im Verhältnis 1:10 mit Aerosil versetzt wurde. Beim Härter E_4 handelt es sich um ein Präkondensat, bestehend aus 35 Teilen Bindemittel 105 und 70 Teilen Härter 951 (aliphatisches Polyamin). A_2 und E_4 wurden im Verhältnis 4,4:0,9 gemischt und standen so zur unmittelbaren Applikation bereit.

Es wurde keine zusätzliche Ruhigstellung durchgeführt, insbesondere wurde auf eine Gipsfixation verzichtet.

2. Resultate

12 Tiere überstanden den Eingriff komplikationslos. Sie wurden nach 3½–5 Monaten geopfert und ihre Wirbelsäulen mechanisch und röntgenologisch auf ihre Beweglichkeit geprüft. Ferner wurden die Klebeverbindung zwischen Knochen und Harzplombe und die Reaktion in der Umgebung des Operationsgebietes makroskopisch beurteilt.

a) Sektionsbefunde

Alle Tiere hatten postoperativ weiter an Gewicht zugenommen und waren in gutem Ernährungszustand. Die Hautwunde war in allen Fällen per primam geheilt. Unter ihr fand sich eine starke bindegewebige Narbenplatte, die mit der Aponeurose verwachsen war. Um die Harzplombe herum hatte

Abb. 1. Links eine normale, rechts eine mit Araldit versteifte Wirbelsäule. Die Bewegungseinschränkung ist deutlich ersichtlich.

sich eine derbe bindegewebige Kapsel gebildet, an welcher die Muskulatur wieder Ansätze gefunden hatte. Die Muskulatur war gut durchblutet, aber, cranial und caudal an die Plombe angrenzend, mäßig atrophisch. Nach Eröffnung der bindegewebigen Kapsel ließ sich die Plombe als Ganzes nur unter großem Kraftaufwand mit einer Zange abreißen, wobei ein Teil der Dorn- und Querfortsätze, fest in der Plombe steckend, mit ausbrachen. Nach Entfernung des Harzes waren an den freigelegten Wirbelbögen und Dornfortsätzen von bloßem Auge keine offensichtlichen Veränderungen an den Knochenoberflächen nachweisbar.

b) Kontrolle der Beweglichkeit

Die Beweglichkeit war im Bereiche der Arthrodese bei allen Tieren vollkommen aufgehoben. Die Auswirkung dieser Arthrodese auf die Beweglichkeit der Gesamtwirbelsäule erwies sich als abhängig von der Anzahl der arthrodesierten Wirbel. Wenn nur 3 Wirbel gegeneinander versteift wurden, blieb die Wirbelsäule als Ganzes, außer an der versteiften Stelle, praktisch normal beweglich, während es bei Arthrodesen von 4 Wirbeln schon zu einer wesentlichen Einschränkung der Bewegungsausmaße kam. Der Beweglichkeitsverlust betrug in diesen Fällen im Mittel 6° für die Dorsalextension, 13° für die seitliche Neigung und 43° für die Ventralflexion. Die Normalwerte (Mittelwert aus 12 Messungen) betragen für die Dorsalflexion 12°, für die Ventralflexion 91° und für die Seitenneigung 28°. Die Beweg-

lichkeit der Wirbelsäule wurde somit bei Arthrodese von 4 Wirbelkörpern durchschnittlich um etwa die Hälfte in allen Richtungen eingeschränkt.

c) Röntgenologische Befunde

Es wurden von den frisch entnommenen, noch mit den kurzen Rückenmuskeln versehenen Wirbelsäulen Röntgenaufnahmen in maximaler Flexion bzw. Extension sowie in seitlicher Neigung gemacht. Diese zeigten, daß im Bereiche der Arthrodese die Beweglichkeit vollständig aufgehoben war. Ferner ließen sich keine Strukturveränderungen des dargestellten Knochens nachweisen (Abb. 1).

3. Diskussion

Es hat sich im Tierversuch nachweisen lassen, daß eine Wirbelsäulenarthrodese mit Araldit in der angeführten Technik erreicht werden kann. Das Verfahren bietet keine wesentlichen methodischen Schwierigkeiten und eröffnet, zumindest von der experimentellen Seite her, neue Möglichkeiten der Wirbelsäulenarthrodese beim Menschen. Es sind hierfür jedoch noch eine Reihe wichtiger Fragen abzuklären, unter anderm Untersuchungen über die eventuelle chronische Toxizität des Materials, die lokale Reaktion des Knochens auf das Harz nach längeren Zeiträumen sowie die bei der Härtung des Araldit auftretenden Temperaturen. Dies erscheint besonders wichtig, da beim Menschen größere Mengen appliziert werden müßten, die gegebenenfalls zu einer unerwünscht starken exothermen Reaktion führen könnten.

In diesem Zusammenhang wären auch Reaktionen benachbarter Organe auf den thermischen Reiz zu kontrollieren. Prinzipiell erscheint es durchaus denkbar, daß ein solches Vorgehen bei Skoliosen, Spondylarthrosen, Spondylitis tuberculosa sowie bei pathologischen Frakturen, die eine Unstabilität der Wirbelsäule bewirken, möglich ist.

Als wichtigsten Vorteil dieser Methode wäre, besonders für ältere Patienten, derjenige der Frühbelastung zu erwähnen, welche unmittelbar nach Verheilen der Weichteilwunde einsetzen könnte, ohne daß eine Ruhigstellung in einem Gipsbett erforderlich wäre.

4. Zusammenfassung

Es wird eine Methode zur Wirbelsäulenarthrodese am Kaninchen unter Verwendung des Epoxyharzes Araldit beschrieben. In einer Versuchsreihe von 12 Kaninchen konnte nach 3½–5 Monaten eine feste Verbindung der arthrodesierten Wirbel nachgewiesen werden. Es stellten sich während der

Beobachtungszeit keine mit dem Material zusammenhängenden Komplikationen ein. Die Anwendung eines entsprechenden Verfahrens beim Menschen und die gegenüber bisherigen Methoden möglichen Vorteile werden erwogen.

1. *Bloch B.:* Bonding of Fractures by Plastic Adhesives. J. Bone Jt Surg. **40,** 804 (1958).
2. *Bloch B.:* Bonding of fractures by plastic adhesives with further applications in a research project. The Institute of Orthopaedics, Sydney, April 1960.
3. *Blum G.:* Experimental observations of the use of absorbable and non-absorbable plastics in bone surgery. Proc. roy. Soc. Med. **38,** 169 (1944).
4. *Canty Th. J.:* A physiological adhesive for bone (Vortrag).
5. *Dittmar C.:* Über den lokalen Reiz und die Fernwirkung einiger karzinogener Substanzen. Z. Krebsforsch. **52,** 17 (1941).
6. *Drompp B.:* Chemical osteosynthesis of fractures and non-unions of the shafts of long bones of the lower extremity. Amer. J. Surg. **99,** 733 (1960).
7. *Grindlay J. H.* und *Waugh J. M.:* Plastic sponge which acts as a framework for living tissue: experimental studies and preliminary report of use to reinforce abdominal aneurysms. Arch. Surg. (Chicago) **63,** 288 (1951).
8. *Mandarino M. P.* und *Salvatore J. E.:* Chemical osteosynthesis. Med. Sci. **4,** 215 (1958).
9. *Mandarino M. P.* und *Salvatore J. E.:* Polyurethan polymer (Ostamer): its use in fractured and diseased bones (experimental results). Surg. Forum **9** (1959).
10. *Mandarino M. P.* und *Salvatore J. E.:* Polyurethan Polymer: its use in fractured and diseased bones. Amer. J. Surg. **97,** 442 (1959).
11. *Nigst H., Wagener H. H., Bircher J.* und *Zuppinger P.:* Industrielle Gießharze in der Knochenchirurgie. Dtsch. med. Wschr. **16,** 658 (1960).
12. *Nigst H.:* Spätkomplikationen nach Frakturen. Méd. et Hyg. (Genève) **18,** 468 (1960).
13. *Quigley Th.* und *Banks H.:* Progress in the treatment of fractures and dislocations. 9 (1960).
14. *Redler I.:* Chemical Osteosynthesis. Amer. J. Surg. **99,** 730 (1960); Plast. reconstr. Surg. **25,** 174 (1960).
15. *Salvatore J. E.* und *Mandarino M. P.:* Polyurethan polymer: its use in osseous lesions: an experimental study. Ann. Surg. **149,** 107 (1959).
16. *Salvatore J. E.* und *Moncrief M. C.:* Polyurethan polymer: systemic and local effects of long-term implantation: an experimental study. Vortrag: Orthop. Research Soc. Chicago 1960.
17. *Salvatore J. E., Moncrief M. C., Mandarino M. P.* und *Sherman R. T.:* Polyurethan Polymer: its use in experimental orthopedics (Referat).
18. *Schmaehl D.:* Prüfung von Naphtalin und Anthracen auf cancerogene Wirkung an Ratten. Z. Krebsforsch. **60,** 697 (1955).
19. *Struthers A. M., Grindlay J. H.* und *Figi F. A.:* An experimental study of formation of autogenous bone within polyvinyl sponge. Plast. reconstr. Surg. **15,** 274 (1955).
20. *Urist M. R., Mazet R.* und *McLean F. C.:* The pathogenesis and treatment of delayed union and non-union. J. Bone Jt Surg. **36**-A, 931 (1954).
21. *Zingg W.:* Zur Frakturenbehandlung mit «Knochenleim». Schweiz. med. Wschr. **90,** 1016 (1960).

Curriculum vitae

Am 12. November 1934 in Zürich als Bürger von Genf geboren, besuchte ich nach der Primarschule in Basel das Realgymnasium und das Institut Athenaeum, wo ich meine Schulausbildung im Frühjahr 1954 mit der eidgenössischen Maturitätsprüfung abschloß.

Im April 1954 immatrikulierte ich mich an der medizinischen Fakultät der Universität Basel, bestand im Frühjahr 1956 die naturwissenschaftliche, im Herbst 1957 die anatomisch-physiologische Prüfung für Ärzte und beendete mein Studium im Mai 1961 mit dem medizinischen Staatsexamen.